



B4

⑬ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 198 34 868 A 1**

⑤ Int. Cl. 7:  
**B 62 D 6/00**  
B 62 D 5/30  
B 62 D 5/04  
B 62 D 15/02  
B 62 D 1/16  
G 01 B 21/22

⑳ Aktenzeichen: 198 34 868.1  
㉑ Anmeldetag: 1. 8. 1998  
㉒ Offenlegungstag: 3. 2. 2000

DE 198 34 868 A 1

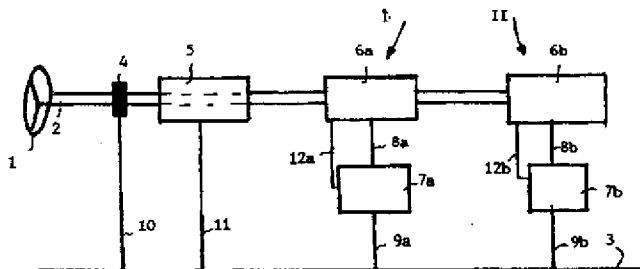
⑦① Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑦② Erfinder:  
Hommel, Mathias, 70825 Korntal-Münchingen, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤④ Lenkradsteller für die Steer-by-Wire-Anwendung in Kraftfahrzeugen

⑤⑦ Die Erfindung geht aus von einem Lenkradsteller für die steer-by-wire-Anwendung in Kraftfahrzeugen, mit einem an einer Lenkradwelle (2) angreifenden und diese mit einem Stellmoment beaufschlagenden elektrischen Stellmotor (6a, 6b) und wenigstens einem den Lenkradwinkel (d) erfassenden ersten Winkelsensor (4), wobei der Stellmotor (6a, 6b) und der Winkelsensor (4) funktionell mit einer Stellbefehle für den Stellmotor erzeugenden Regel-/Steuereinheit (7a, 7b) verbunden sind, der dadurch gekennzeichnet ist, daß wenigstens ein zweiter den Lenkradwinkel erfassender Winkelsensor vorgesehen ist und daß eine erste und zweite Stelleinheit (I, II) aus jeweils einem elektrischen Stellmotor (6a, 6b) und jeweils einer diesen über eine Leistungselektronik regelnden/steuernden, als Prozeßrechner ausgebildeten Steuereinheit (7a, 7b) gebildet sind; jede Steuereinheit (7a, 7b) und die Winkelsensoren (4, 22) sind untereinander und mit einem übergeordneten Fahrzeugrechner durch einen Datenbus (3) verbunden, und jede Steuereinheit hat außerdem einen Eingang zur Eingabe von der Ständerspannung und dem Ständerstrom des zugeordneten Stellmotors entsprechenden Signalen.



6

DE 198 34 868 A 1

Die Erfindung geht aus von einem Lenkradsteller für die steer-by-wire-Anwendung in Kraftfahrzeugen, mit einem an einer Lenkradwelle angreifenden und diese mit einem Stellmoment beaufschlagenden elektrischen Stellmotor und wenigstens einem den Lenkradwinkel erfassenden ersten Winkelsensor, wobei der Stellmotor und der Winkelsensor funktionell mit einer Stellbefehle für den Stellmotor erzeugenden Regel/Steuereinheit verbunden sind.

Ein derartiger Lenkradsteller ist aus der DE 195 40 956 C1 bekannt. Dieser bekannte Lenkradsteller setzt, wenn die mechanische Verbindung zwischen dem Lenkrad und der gelenkten Achse aufgetrennt ist, der vom Fahrer am Lenkrad aufgetragenen Kraft einen steuerbaren Betätigungswiderstand entgegen. Besonders bei steer-by-wire-Anwendungen, bei denen keine mechanische Verbindung mehr zwischen Lenkrad und der gelenkten Achse vorhanden ist, ist eine fehlertolerante Auslegung eines dafür geeigneten Lenkradstellers wichtig.

#### Aufgaben und Vorteile der Erfindung

Es ist Aufgabe der Erfindung einen für die steer-by-wire-Anwendung in Kraftfahrzeugen geeigneten, fehlertoleranten Lenkradsteller zu ermöglichen, der auch beim Auftreten eines Fehlers ein geeignet gestaltetes Gegenmoment beim Einlenken des Fahrers am Lenkrad des steer-by-wire-gelenkten Fahrzeugs aufbringen und den Lenkradwinkel sicher messen kann.

Diese Aufgabe wird bei einem gattungsgemäßen Lenkradsteller erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß wenigstens ein zweiter den Lenkradwinkel erfassender Winkelsensor vorgesehen ist und daß eine erste und zweite Stelleinheit aus jeweils einem elektrischen Stellmotor und jeweils einer diesen über eine Leistungselektronik regelnden/steuernden, als Prozeßrechner ausgebildeten Steuereinheit gebildet sind; jede Steuereinheit und die Winkelsensoren sind untereinander und mit einem übergeordneten Fahrzeugrechner durch einen Datenbus verbunden, und jede Steuereinheit weist außerdem einen Eingang auf zur Eingabe von der Ständer-Spannung und dem Ständerstrom des zugeordneten Stellmotors entsprechenden Signalen.

Zur Ausbildung eines fehlertoleranten Lenkradstellers die beiden Stelleinheiten so eingerichtet sind, daß im Normalbetrieb immer nur eine Stelleinheit mit dem ihr zugeordneten Stellmotor die Stellaufgabe erfüllt und die andere Stelleinheit über den ihr zugeordneten Stellmotor die Drehbewegung mißt, und im Fehlerfall, wenn nur eine Stelleinheit ausfällt, die Stellaufgabe von der jeweils intakten Stelleinheit ausgeführt wird, und wenn beide Stelleinheiten ausfallen, das Lenkrad noch drehbar ist und wenigstens einer der Winkelsensoren den Lenkradwinkel erfassen und ein entsprechendes Signal über das Bussystem ausgeben kann.

Durch die doppelte Auslegung der miteinander in Wirkverbindung stehenden Stelleinheiten mit der jeweils zugehörigen intelligenten Steuereinheit sowie dadurch, daß jede Steuereinheit die Ständer-Spannung und die Ständerstromstärke des von ihr geregelten/angesteuerten Stellmotors zurücklesen kann, ist erreicht, daß im Normalbetrieb eine der Stelleinheiten die Stellaufgabe ausführt und die andere Stelleinheit die Drehbewegung mißt, und, wenn eine Stelleinheit ausfällt, kann die Stellaufgabe von der jeweils intakten Stelleinheit ausgeführt werden. Wenn dagegen beide Stelleinheiten ausfallen, ist das Lenkrad immer noch drehbar und wenigstens einer der Winkelsensoren, die den Lenkradwinkel erfassen und an den übergeordneten Fahrzeugrechner über den Datenbus ein entsprechendes Signal aus-

radwinkel erfassen und an den übergeordneten Fahrzeugrechner über den Datenbus ein entsprechendes Signal aus-

senden.  
Im Normalbetrieb lesen beide Steuereinheiten ständig Information über den Fahrzustand oder Kommandos vom übergeordneten Fahrzeugrechner über den Datenbus ein.

Die Stelleinheiten sind weiterhin so eingerichtet, daß die jeweils aktive, bei Auslenkung des Lenkrads aus der Null-Lage dem vom Fahrer auf das Lenkrad ausgeübten Moment ein adäquates Gegenmoment entgegensetzen kann. Dieses Gegenmoment wird so erzeugt, daß die jeweils aktive Steuereinheit aus der gemessenen Winkelposition des Lenkrads, aus Kommandos vom Fahrzeugrechner und aus der vom zugehörigen Stellmotor zurückgelesenen Ständer-Ist-Spannung oder der Ist-Stromstärke eine Ständer-Soil-Spannung oder -Soll-Stromstärke berechnet.

Bevorzugt ist die Charakteristik des Gegenmoments derart, daß in einem bestimmten Winkelbereich des Lenkrads um seine Null-Lage bei Verdrehung in beiden Richtungen die vom Fahrer aufzubringende Lenkkraft mit steigendem Lenkradwinkel annähernd linear wächst und außerhalb dieses Winkelbereichs ein konstantes Gegenmoment erzeugt wird.

In vorteilhafter Weiterbildung ist vorgesehen, daß eine den maximal einschlagbaren Lenkradwinkel oder die Anzahl der Umdrehung des Lenkrads begrenzende Einrichtung direkt an der Lenkradwelle angreift. Diese Begrenzungseinrichtung wirkt bevorzugt mit mechanischen Mitteln begrenzend auf die Lenkradwelle ein.

In der Begrenzungseinrichtung kann ein weiterer Winkelsensor dadurch gebildet sein, daß eine die Winkelverdrehung des Lenkrads in eine lineare Bewegung umsetzende Einrichtung in Form eines Wegesensors vorgesehen ist, welcher z. B. magnetisch, elektrisch oder optoelektronisch den Lenkradwinkel in ein lineares Wegesignal umsetzt.

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung werden nachstehend anhand der ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Lenkradstellers darstellenden Zeichnung beschrieben.

#### Zeichnung

Fig. 1 zeigt blockschaltbildartig ein Ausführungsbeispiel des Systemaufbaus des erfindungsgemäßen Lenkradstellers;

Fig. 2 zeigt graphisch die Charakteristik des dem vom Fahrer auf das Lenkrad ausgeübten Handmoment durch den erfindungsgemäßen Lenkradsteller entgegengesetzten Gegenmoments zwischen zwei maximalen Auslenkungswinkeln  $+d_{\max}$  und  $-d_{\max}$  des Lenkrads; und

Fig. 3 zeigt schematisch ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der in Fig. 1 gezeigten Begrenzungseinrichtung zur Begrenzung der Anzahl der Lenkradumdrehungen bzw. des Lenkradwinkels.

#### Ausführungsbeispiel

Der erfindungsgemäße Lenkradsteller greift an einer von einem Lenkrad 1 ausgehenden Lenkradwelle 2 an. Weiterhin greift an der Lenkradwelle 2 eine Begrenzungseinrichtung 5 zur Begrenzung der Anzahl der Lenkradumdrehungen an. Der Lenkradsteller besteht aus zwei miteinander durch die Lenkradwelle 2 sowie einen Datenbus 3 verbundenen im wesentlichen gleichartigen Stelleinheiten I, II, die jeweils einen elektrischen Stellmotor 6a, 6b und eine mit einem Prozeßrechner verschobene Regel/Steuereinheit 7a, 7b sowie elektrische Verbindungen 8a, 8b, 9a, 9b, 12a, 12b aufweisen.

Die Welle 2 geht direkt durch die Rotoren der Stellmoto-

ren 6a und 6b. Ein auf der Welle 2 befestigter erster Winkelsensor 4 sendet seinen Meßwert über eine elektrische Verbindungsleitung C an den hier nicht weiter spezifizierten Datenbus 3.

Jede Regel/Steuereinheit 7a, 7b hat außer dem Prozeßrechner auch eine Leistungselektronik und die Aufgabe, aus den Sensorwerten und den vom übergeordneten Fahrzeugrechner kommenden Kommandos, die Strang- oder Ständerspannungen der elektrischen Stellmotoren 6a, 6b zu berechnen und über die Leistungselektronik dem Stellmotor 6a, 6b einzuspeisen, um diesen zum Drehen anzuregen. Dazu liest die Regel/Steuereinheit 7a, 7b die notwendigen Werte vom Datenbus 3 jeweils über die Verbindungsleitungen 9a, 9b und die Leitungselektronik schaltet die Steuerspannung über die elektrischen Verbindungen 8a, 8b.

Außerdem liest jede Regel/Steuereinheit 7a, 7b über die elektrischen Verbindungsleitungen 12a, 12b Ständer-Ist-Spannungen oder Ist-Stromstärken zurück und kann so den hier zugeordneten elektrischen Stellmotor 6a, 6b über eine geschlossene Regelschleife regeln.

Diese Verbindungen 12a, 12b ermöglichen außerdem, daß die gerade nicht aktive Steuereinheit 7a oder 7b von dem ihr zugeordneten Stellmotor durch das Rücklesen von dessen Ist-Ständerspannung oder -Stromstärke die Drehbewegung der Lenkradwelle 2 feststellen kann, und diese bildet dadurch einen zweiten Winkelsensor.

Im Normalbetrieb, d. h. wenn kein Fehler auftritt, sind beide Stelleinheiten I, und II intakt. In diesem Fall arbeitet immer nur eine Stelleinheit I oder II, d. h. einer der elektrischen Stellmotoren 6a oder 6b bringt das Stellmoment auf die Lenkradwelle 2 auf, und der andere Stellmotor 6b oder 6a dient zum Messen der Drehbewegung.

Bei einem Fehler in einer der Stelleinheiten I oder II, z. B. in der Leistungselektronik, wird der betroffene Stellmotor 6a, 6b nicht mehr angesteuert, und von da ab ausschließlich der andere Stellmotor der noch funktionierenden Stelleinheit I, II. Dabei läßt sich aber immer noch die Drehzahl bzw. der am Lenkrad eingestellte Drehwinkel durch den Stellmotor der fehlerbehafteten Stelleinheit erfassen, wenn deren Steuereinheit, d. h. der Prozeßrechner und der elektrische Stellmotor funktionstüchtig sind. Damit steht außer dem Winkelsensor 4 ein weiterer Winkelsensor zur Erfassung der Drehbewegung des Lenkrads zur Verfügung.

Wie weiter unten anhand der Fig. 3 erläutert werden wird, steht in der Begrenzungseinheit 5 ein dritter Winkelsensor bereit, um die Drehbewegung des Lenkrads zu erfassen. Alle drei Winkelsensoren arbeiten mit drei unterschiedlichen physikalischen Prinzipien und sind somit diversitär redundant.

Das Konzept für die Winkelsensoren, wie auch für den Stellantrieb des Lenkrades, ist fehlertolerant, da bei den Winkelsensoren zwei und beim Antrieb eine ausgefallene Einheit toleriert wird. Wenn nämlich ein Stellantrieb, bestehend aus elektrischem Stellmotor, Leistungselektronik und Steuereinheit ganz ausfällt, steht das Lenkrad dennoch mit der vollen Funktion zur Verfügung, da in diesem Fall die andere Stelleinheit die Stellaufgabe erfüllt. Wenn dann noch die zweite Stelleinheit ausfällt, läßt sich das Lenkrad zwar noch drehen, beim Lenken wird dem Fahrer jedoch kein Moment mehr entgegengesetzt und eine Null-Lage des Lenkrads fühlt der Fahrer auch nicht. Dies ist der Fall der reduzierten Verfügbarkeit oder des sog. "limp-home".

Fig. 2 zeigt graphisch eine Charakteristik eines von der jeweils aktiven Stelleinheit I oder II erzeugten Gegenmoments, das der von den Fahrerhänden auf das Lenkrad aufgebrachten Kraft entgegengesetzt ist. Beim Auslenken des Lenkrads durch den Fahrer aus der Null-Lage wird dem Fahrer ein Gegenmoment entgegengebracht, dessen Verlauf

gem. Fig. 2 ähnlich dem von herkömmlichen Servolenkungen ist. Dies wird dadurch erreicht, daß die Steuereinheit 7a oder 7b aus den über den Datenbus 3 erhaltenen Positionswerten des Lenkrades, Kommandos vom Fahrzeugrechner usw. und aus den vom zugeordneten elektrischen Stellmotor über die Verbindungsleitung 12a bzw. 12b zurückgelesenen Ständer-Ist-Spannungen oder Ständer-Ist-Stromstärken, Ständer-Sollspannungen oder Sollstromstärken berechnet, derart, daß ein der Lenkbewegung adäquates oder entsprechendes Gegenmoment erzeugt wird.

Mit den elektrischen Stellmotoren 6a, 6b wird, geregelt und gesteuert von der jeweiligen Steuereinheit 7a oder 7b das in Fig. 2 erzeugte Gegenmoment derart erzeugt, daß in einem bestimmten Bereich um die Null-Lage zwischen  $-dLR_{gr}$  und  $+dLR_{gr}$  ein sog. Grabeneffekt am Lenkrad fühlbar ist. Dabei steigt die vom Fahrer aufzubringende Lenkkraft linear mit steigendem Lenkradwinkel  $dLR$  an, und außerhalb des Bereichs zwischen  $-dLR_{gr}$  und  $+dLR_{gr}$  um den Nullpunkt liegt ein konstantes Gegenmoment  $ML$ , max an. Bei heutigen Servolenkungen beträgt dieses Gegenmoment ca. 5 Nm.

Auf diese Weise hat der Fahrer das Gefühl, hinter seinem Lenkrad befinde sich eine ganz normale Lenkung und ist nicht irritiert, wenn er ein anderes Auto mit herkömmlicher Lenkanlage, ohne steer-by-wire-Lenkung, fährt.

Ist das vom Fahrer aufgebrachte Lenkradmoment kleiner als das Moment gemäß Fig. 2, kann die jeweilige Stelleinheit I oder II das Lenkrad selbständig in die Null-Lage zurückdrehen.

Wie schon erwähnt, ist die Lenkbewegung in der Größe des maximalen Drehwinkels oder in der Anzahl der Lenkradumdrehungen begrenzt. Dazu dient die Begrenzungseinrichtung 5 gemäß Fig. 1, deren Details anhand der Fig. 3 näher beschrieben werden.

Die mechanisch an der Lenkradwelle 2 angreifende Begrenzungseinrichtung 5 ist in Fig. 3 schematisch und im Schnitt dargestellt. Ein Schlitten 21 fährt, angeregt durch die Drehbewegung der Lenkradwelle 2, axial auf der Welle 2 entlang (Pfeil 23) und stößt bei einer wohldefinierten Anzahl von Lenkradumdrehungen oder einem maximalen Drehwinkel des Lenkrads auf die festen Begrenzungen 20a, 20b. Der Schlitten 21 und die Lenkradwelle 2 weisen an ihren Berührungsflächen Verzahnungen 25 derart auf, daß eine Drehung der Welle 2 eine axiale Verschiebung des Schlittens 21 verursacht. Außerdem ist zwischen den Begrenzungen 20a, 20b, wie bereits erwähnt, ein Wegsensor 22 angebracht, der z. B. magnetisch, elektrisch oder optoelektronisch die lineare Bewegung des Schlittens 21 erfaßt und den Meßwert über die elektrische Verbindung 11 an den Datenbus 3 weitergibt. Dieser Wegsensor 22 stellt somit, wie erwähnt, einen dritten Winkelsensor dar.

#### Patentansprüche

1. Lenkradsteller für die steer-by-wire-Anwendung in Kraftfahrzeugen, mit einem an einer Lenkradwelle (2) angreifenden und diese mit einem Stellmoment beaufschlagenden elektrischen Stellmotor (6a, 6b) und wenigstens einem den Lenkradwinkel ( $dLR$ ) erfassenden ersten Winkelsensor (4), wobei der Stellmotor (6a, 6b) und der Winkelsensor (4) funktionell mit einer Stellbefehle für den Stellmotor erzeugenden Regel/Steuereinheit (7a, 7b) verbunden sind, **dadurch gekennzeichnet**, daß

– wenigstens ein zweiter den Lenkradwinkel erfassender Winkelsensor vorgesehen ist und daß eine erste und zweite Stelleinheit (I, II) aus jeweils einem elektrischen Stellmotor (6a, 6b) und jeweils

- einer diesen über eine Leistungselektronik regelnden/steuernden, als Prozeßrechner ausgebildeten Steuereinheit (7a, 7b) gebildet sind;
- jede Steuereinheit (7a, 7b) und die Winkelsensoren (4, 22) untereinander und mit einem übergeordneten Fahrzeugrechner durch einen Datenbus (3) verbunden sind, und jede Steuereinheit außerdem einen Eingang aufweist zur Eingabe von der Ständerspannung und dem Ständerstrom des zugeordneten Stellmotors entsprechenden Signalen.
2. Lenkradsteller nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Stelleinheiten (I, II) zur Ausbildung eines fehlertoleranten Lenkradstellers so eingerichtet sind, daß
- im Normalbetrieb immer nur eine Stelleinheit mit dem ihr zugeordneten Stellmotor die Stellaufgabe erfüllt und die andere Stelleinheit über den ihr zugeordneten Stellmotor die Drehbewegung mißt, und
  - im Fehlerfall,
    - wenn nur eine Stelleinheit ausfällt, die Stellaufgabe von der jeweils intakten Stelleinheit ausgeführt wird, und
    - wenn beide Stelleinheiten ausfallen, das Lenkrad noch drehbar ist und wenigstens einer der Winkelsensoren den Lenkradwinkel (dLR) erfassen und ein entsprechendes Signal über das Bussystem ausgeben kann.
3. Lenkradsteller nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuereinheit (7a, 7b) jeder Stelleinheit (I, II) ständig Information über den Fahrzustand oder Kommandos vom übergeordneten Fahrzeugrechner über den Datenbus einliest.
4. Lenkradsteller nach Anspruch 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß jede Stelleinheit (I, II) so eingerichtet ist, daß sie, wenn sie aktiv ist, bei Auslenkung des Lenkrads aus der Null-Lage dem vom Fahrer auf das Lenkrad ausgeübten Moment ein der Auslenkung entsprechendes Gegenmoment entgegensetzt.
5. Lenkradsteller nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Gegenmoment von der jeweils aktiven Stelleinheit (I, II) so erzeugt wird, daß die zugehörige Steuereinheit (7a, 7b) aus der gemessenen Winkelposition des Lenkrads (1), aus Kommandos vom Fahrzeugrechner und aus der vom zugehörigen Stellmotor (6a, 6b) rückgelesenen Ständer-Istspannung oder der Ständer-Ist-Stromstärke eine Ständer-Sollspannung oder Soll-Stromstärke für den zugeordneten Stellmotor (6a, 6b) berechnet.
6. Lenkradsteller nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß jede Stelleinheit (I, II) das Gegenmoment derart erzeugt, daß in einem bestimmten kleinen Winkelbereich ( $\pm$  dLR<sub>gr</sub>) des Lenkrads (1) um seine Null-Lage bei Verdrehung in beiden Richtungen die vom Fahrer aufzubringende Lenkkraft mit steigendem Lenkradwinkel annähernd linear wächst und außerhalb dieses Winkelbereichs ein konstantes Gegenmoment ( $\pm$  ML<sub>max</sub>) erzeugt.
7. Lenkradsteller nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das außerdem eine den maximalen Lenkradwinkel (d<sub>max</sub>) begrenzende Einrichtung (5) vorgesehen ist, die an der Lenkradwelle angreift.
8. Lenkradsteller nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Begrenzungseinrichtung (5) den Lenkradwinkel (dLR) mechanisch begrenzt.
9. Lenkradsteller nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, daß ein Winkelsensor (22) dadurch ge-

bildet ist, daß zwischen den durch die Begrenzungseinrichtung (5) vorgegebenen maximalen Lenkradwinkeln (d<sub>max</sub>) ein Wegesensor angebracht ist, der z. B. magnetisch, elektrisch oder optoelektronisch den Lenkradwinkel (dLR) in ein lineares Wegesignal umsetzt und dieses dem Datenbus (3) zuführt.

10. Lenkradsteller nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Charakteristik des bei Verdrehung des Lenkrads aufgebrachten Gegendrehmoments annähernd gleich wie die Lenkcharakteristik herkömmlicher Servolenkungen ist.

11. Lenkradsteller nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß er bei losgelassenem Lenkrad (1), wenn der Fahrer kein Moment mehr aufbringt, das Lenkrad selbständig in die Null-Lage zurücklenkt.

---

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -

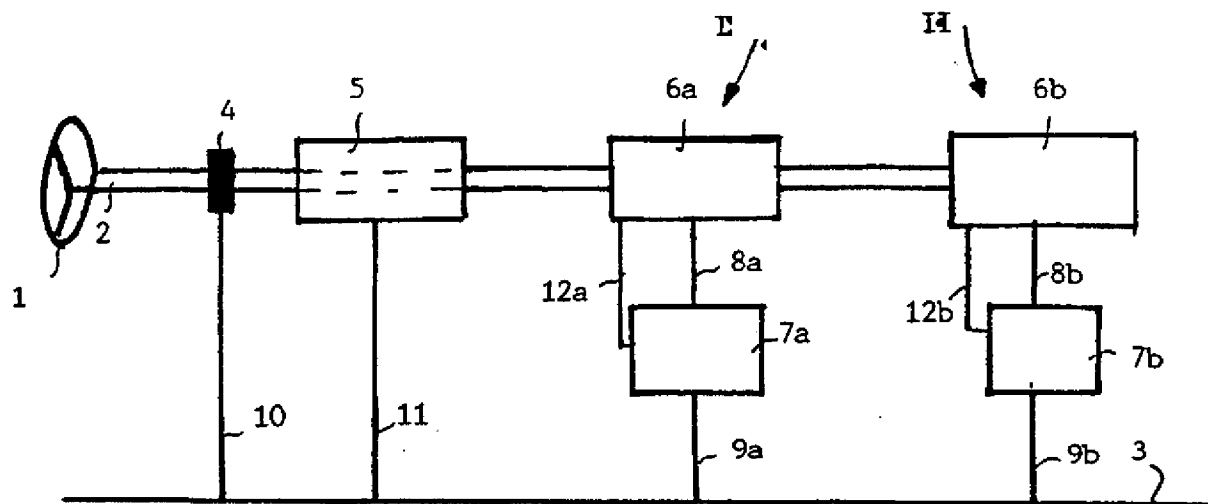


FIG. 1

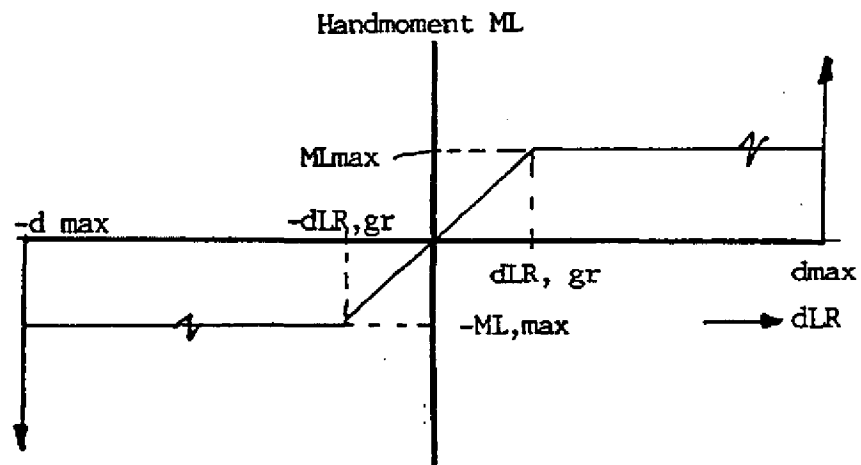


FIG. 2

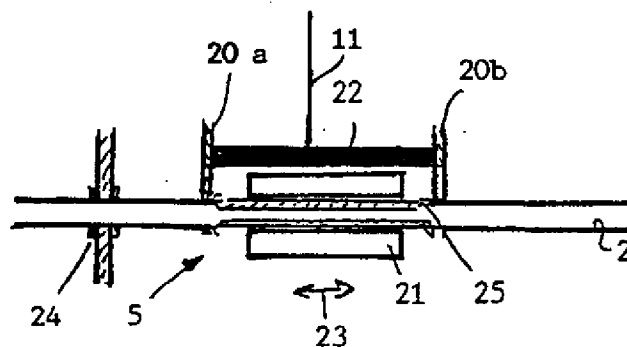


FIG. 3